



# MODELISATION DE SYSTEMES DE PRODUCTION ORIENTES SERVICES

Malik Chalal, Xavier Boucher, Guillaume Marquès

## ► To cite this version:

Malik Chalal, Xavier Boucher, Guillaume Marquès. MODELISATION DE SYSTEMES DE PRODUCTION ORIENTES SERVICES. 9th International Conference on Modeling, Optimization & Simulation, Jun 2012, Bordeaux, France. 10p. hal-00728660

**HAL Id: hal-00728660**

**<https://hal.science/hal-00728660>**

Submitted on 30 Aug 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## MODELISATION DE SYSTEMES DE PRODUCTION ORIENTES SERVICES

M. CHALAL, X. BOUCHER, G. MARQUES

ENMSE / LSTI  
158 Cours Fauriel  
42023 Saint Etienne- France  
{chalal, boucher, marques}@emse.fr

**RESUME :** *Cet article traite de la problématique de la servicisation : transition de modèle d'entreprise depuis un modèle d'entreprise de production de bien, vers un modèle basé sur la production couplée de biens et de services. Après avoir situé les enjeux de cette transformation économique et organisationnelle, nous proposons une démarche de modélisation des systèmes de production orientés services, puis nous approfondissons la modélisation d'un sous-système spécifique : le système d'usage. Nous présentons un modèle conceptuel du système d'usage, puis une application industrielle mettant en évidence une implémentation de ce modèle, destinée à une étude par simulation.*

**MOTS-CLES :** *Service, Servicisation, Système productif, Système Produit Service, Modélisation, Simulation.*

### 1 INTRODUCTION

#### 1.1 Le service, un enjeu pour l'industrie du produit

Depuis les années 1990, on assiste à une mutation des pratiques de certaines entreprises industrielles face à la concurrence et les contraintes, toujours plus nombreuses, émanant des donneurs d'ordres. Ces derniers se sont mis à exiger des fournisseurs réactifs, efficaces et adaptables passant de la sous-traitance de capacité à de la sous-traitance de fonctions. L'enrichissement de l'offre commerciale classiquement centrée sur le produit au travers d'une offre de services de plus en plus étoffée apparaît comme un mode de résistance à la baisse des prix. Elle souligne une position stratégique de l'entreprise lui permettant une meilleure fidélisation des clients, la stabilisation d'une partie du chiffre d'affaire, une différenciation vis-à-vis de la concurrence, un accès à de nouveaux segments de clientèle et, au final, un accroissement des marges et du chiffre d'affaire.

Cela se traduit par un changement de modèle économique et une rupture graduelle avec l'économie traditionnelle, qui consiste dans de la transaction ponctuelle de produits tangibles et matériels, vers une économie de fonctionnalité(s) centrée sur la satisfaction d'une valeur d'usage par le client tout au long du cycle de vie du bien. Cette nouvelle approche de la création de valeur est liée au concept de Product Service System (PSS) qui a donné lieu à de nombreuses définitions. Cette difficulté à converger sur la définition des PSS est induite par la notion de « service », dont la meilleure acception semble être de le comparer à ce qu'il n'est pas. C'est d'ailleurs le principe de la différenciation classique des secteurs primaire (exploitation des ressources naturelles), secondaire (transformation industrielle) et tertiaire (le reste !) (Balin, 2006). Toutes les tentatives de définition en économie, marketing, sociologie... peuvent donner matière à débat. « Le problème est d'essayer de décrire en

quelques mots 75% de l'activité économique [...]. Faut-il s'étonner qu'il y ait des exceptions pour toutes ces définitions » (Haywood-Farmer et Nollet, 1991) (Balin, 2006) et (Giard, 2005) affirment donc que, compte tenu de l'hétérogénéité des prestations de services, une définition ne peut être associée qu'à un point de vue précis. Ici, nous adopterons le point de vue exprimé par des auteurs tels que, (Baines et al, 2009), (Mont, 2002) nous conduisant à considérer le PSS comme une offre commerciale globale basée sur un bien matériel et l'adjonction d'un certain nombre de services associés à son cycle de vie, le tout permettant de garantir une performance durable et une création de valeur d'usage pour le client. Nous nous focalisons dans ce papier sur les PSS orientés 'usage' où le prestataire vend uniquement une utilisation ou une mise à disposition d'un produit, qui n'est plus possédé par le client.

#### 1.2 Projet scientifique global vis-à-vis de l'enjeu

Si l'unanimité n'est pas encore trouvée sur une définition précise, la grande majorité des auteurs s'accordent néanmoins sur les principaux bénéfices que peuvent tirer les industriels du passage d'un modèle économique classique vers une offre PSS. Dans la figure 1 nous proposons une vision particulière de ces effets. Le postulat de départ de cette représentation est que le prestataire PSS cherche à améliorer ses revenus (partie supérieure du schéma). Même si ce postulat est évidemment critiquable, cela ne réduit pas l'intérêt de l'identification des interactions, proposée par ce schéma. Dans la partie inférieure, nous avons fait figurer ce que nous avons considéré comme les éléments de base de la notion de PSS : (i) la question de la propriété du produit support à la relation, (ii) le fait de s'inscrire dans une relation dans le temps relative à l'évolution du produit tout au long de son cycle de vie, et (iii) le management durable de la performance.

Au milieu, sont représentés les différents éléments explicatifs des conséquences de la mise en place d'un PSS. Au travers de cette figure, nous ne revendiquons pas l'exhaustivité des éléments constitutifs, ni de leurs interactions. Nous avons choisi d'en représenter les plus importants tirés de la littérature (Mont, 2002) ; (Baines et al, 2009) ; (Kowalskowski, 2010). Contrairement au diagramme d'influence duquel ce schéma est inspiré, chaque interaction ne porte pas de signe puisque, dans la majorité des cas, une double lecture est possible.

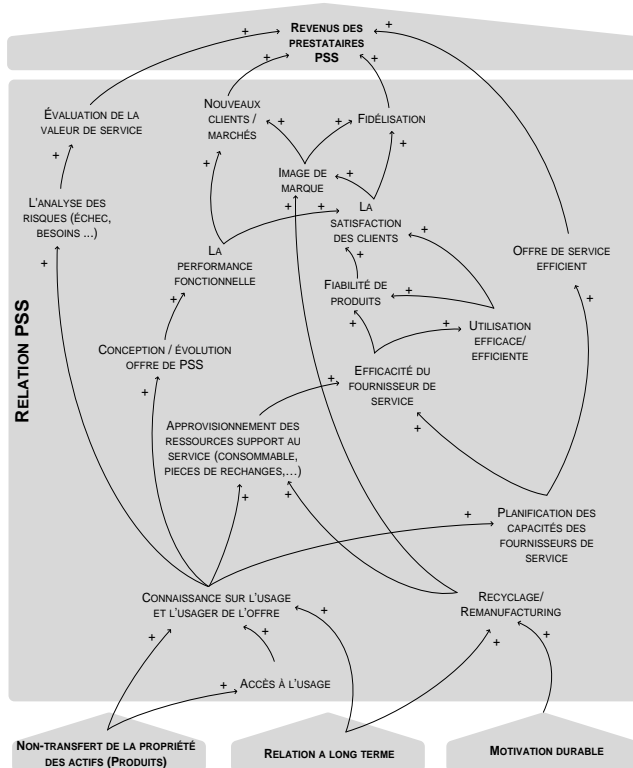


Figure 1 : Mécanismes interactifs d'une relation PSS

Enfin, pour conclure sur la question de l'analyse des mécanismes inhérents aux PSS et à leur production, nous reprendrons certaines remarques de (Giard, 2005) qui souligne le manque actuel de diversité dans les points de vue mobilisés pour analyser et piloter les systèmes de production de services, le plus souvent observés via le seul filtre de l'enjeu commercial et marketing. Or, « le processus de production d'un service s'effectue au travers d'une succession d'opérations consommant des ressources en équipements, en hommes, en matières, en informations techniques ou procédurales ou en informations relatives à l'état d'utilisation du système productif ». Le pilotage de ce « flux de services » peut, dès lors, se rapprocher de compétences déjà démontrées en gestion de production de biens.

Dans la suite de ce papier, nous ne nous intéressons pas spécifiquement au PSS, mais à son système de production que nous dénommons Système de Production Orienté Service (SPOS), basé sur un couplage de processus productifs manufacturiers et de processus de prestations

de services. Nous proposons donc une démarche de modélisation qui adopte un point de vue et une finalité particuliers : le focus de la modélisation est placé sur les processus productifs en eux-mêmes (produits et services), dans une finalité de mettre au point des mécanismes de pilotage des opérations, adaptés au contexte des SPOS. Le but est notamment de pouvoir analyser les changements organisationnels et de modes de pilotage induits par le passage à une offre PSS (éléments soulignés figure 1). Notre démarche globale vise à proposer une aide à la décision pour comprendre et anticiper les mécanismes de transition d'une relation transactionnelle classique vers une relation PSS. Si de nombreux auteurs ont abordé la question sous l'angle de la « conception » des systèmes produits/services, nous remarquons néanmoins le manque de travaux sur l'usage et l'usager, comme points d'entrée à la représentation et à l'évaluation des SPOS. Pourtant, comme le souligne (Giard, 2005) l'étude des systèmes de production orientés services implique de réfléchir (i) sur la formulation de la demande et (ii) sur la manière de produire le service et de mettre à disposition le bien (Giard, 2005). Face à ce constat, notre démarche de modélisation s'appuie sur le découplage de 2 sous-systèmes principaux (figure 2) :

- **Système d'usage :** il représente l'environnement d'usage à l'origine de la demande. Il permet de représenter le comportement du client (c'est-à-dire l'usager du produit et des services associés) vis-à-vis du prestataire PSS. Il englobe les comportements du marché, mais aussi de chaque usager vis-à-vis de l'offre commerciale PSS et les comportements d'usage de l'utilisateur du PSS dans le temps.

- **Système productif :** il correspond à l'entreprise (ou à un ensemble d'entreprises partenaires) qui met à disposition des clients l'offre PSS. Celle-ci est en charge du pilotage des flux de produit et des flux de services ainsi que des processus de production qui leur sont associés.

La finalité de notre démarche de modélisation est d'être capable d'analyser dynamiquement la capacité du système productif à répondre aux besoins du système d'usage de manière efficace et efficiente. Or, ces deux systèmes, chacun avec sa dynamique propre, sont en constante interaction au travers d'un jeu de sollicitations et de réponses à celles-ci. Cette interaction sera représentée dans notre démarche au travers de **déclencheurs métiers** dont l'objectif est d'établir un lien entre un signal de besoin en prestation émanant du client et un ou des processus métier chez le fournisseur permettant d'y répondre.

Les modèles construits visent à étudier les situations de transition des PME d'un modèle économique traditionnel de vente de produit, vers un modèle de vente de fonctionnalité par couplage produit/service (PSS). Nous étudions cette transition organisationnelle, comme un levier potentiel pour déployer le **développement durable**.

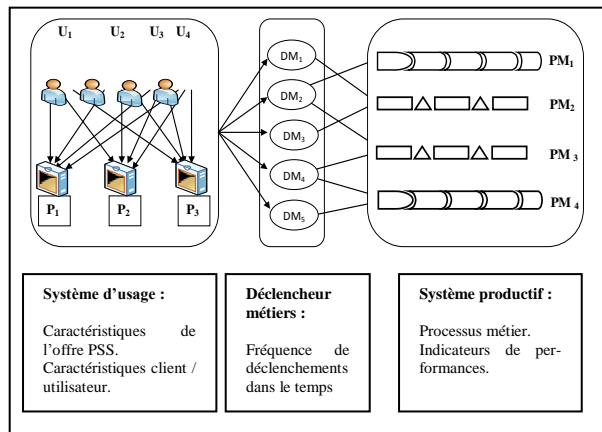


Figure 2 : Démarche scientifique globale

### 1.3 Positionnement du papier

L'objet de la communication est de présenter et d'illustrer nos avancées sur une partie limitée de cette démarche : la modélisation du système d'usage. L'objectif est d'être capable de représenter puis de simuler les différents comportements d'usage et leurs conséquences en termes de signaux d'interaction émis vers le système productif. Comme expliqué en section 1.1, par hypothèse restrictive, nous nous positionnons ici sur des PSS orientés usage. Par ailleurs, nous restreignons également la suite de cet article à des cas de relations commerciales de type Business to Customer (B to C)<sup>1</sup>.

Nous proposons d'abord un rapide bilan sur la littérature relative à la représentation et la simulation des PSS, en accordant une attention particulière à la partie usage de ces démarches de modélisation. Nos modèles conceptuels et de simulation seront présentés dans une seconde partie. Enfin, nous terminerons par l'illustration de l'utilisation de ces modèles au travers d'une étude de cas dont l'enjeu consiste à mettre en évidence la faisabilité de notre démarche. Nous terminerons en soulignant les suites à donner et perspectives associées à nos travaux.

## 2 MODELISATION DU SYSTEME D'USAGE

### 2.1 Vision(s) de l'usage

Dans la langue française l'« usage » renvoie classiquement à l'action, au fait de se servir de quelque chose. Etudier l'usage revient donc à observer, à interpréter les actions, l'emploi réel du produit en question pour en comprendre le fonctionnement perçu par l'utilisateur. Mais la signification de l'usage ne s'arrête pas à cette dimension de l'action et de l'emploi. Si, le terme usage rassemble de nombreuses significations, elles sont largement orientées vers un même paradigme : l'analyse des pratiques des utilisateurs (Buisine and Roussel, 2008). La problématique d'analyse des usages renvoie donc à des méthodes visant à recueillir et analyser des données sur les usages, pour informer la prise de décision dès la conception (Nelson, 2011). Ces méthodes

sont notamment abordées dans 2 champs scientifiques : le marketing et l'ergonomie.

L'ergonomie est une discipline scientifique qui vise à comprendre les interactions entre l'Homme et ses moyens, méthodes et milieux de travail. L'ergonome est donc, par définition, clairement focalisé sur l'interaction entre l'homme (Usager) et un système (organisation, produit/service ...). Ce point de vue « utilisateur » porté sur le système d'usage lui permet de **modifier la conception d'un système pour en améliorer la valeur perçue** par le futur usager.

En complément le marketing s'intéresse notamment à mieux comprendre le client et à anticiper les usages afin de gérer une offre adaptée aux attentes (Kotler, 2001). Clairement économiquement intéressée, cette démarche a permis l'éclosion de concepts parmi lesquels la notion de « Service-dominant logic » portée par Vargo et Lusch (Vargo et Lusch, 2004), (Lusch et Vargo, 2008). Celle-ci traduit la servicisation des systèmes productifs non pas par un ajout graduel de services à l'offre principale restée matérielle, mais par un repositionnement stratégique total des entreprises en terme de création de valeur. Se questionnant sur les implications concrètes pour les firmes de cette « Service Dominant Logic », (Kowalkowski, 2010) conclut que bon nombre d'entre elles se sont arrêtées au stade de l'ajout ponctuel de services à une offre matérielle classique.

Au final, les visions des spécialistes de l'ergonomie et du marketing ouvrent explicitement la voie à la distinction de 2 grandes familles de comportements d'un usager : (i) *l'usager dans son positionnement face à l'offre commerciale* et son ensemble de produits de services pour lequel il est prêt à payer pour satisfaire un besoin perçu ; et (ii) *l'usager dans son utilisation effective* du bien et des besoins réels induits par cet usage en matière de services.

### 2.2 Modélisation de l'usage

Afin de converger en section 3 vers un modèle conceptuel de système d'usage, nous présentons ci-dessous des travaux de modélisation du système d'usage, structurés selon la distinction que nous venons d'établir : les comportements de l'usager d'une part dans son positionnement face à l'offre commerciale (§2.2.1) et d'autre part dans son utilisation effective du bien (§2.2.2).

#### 2.2.1 L'usager face à l'offre commerciale

A l'image des travaux de (Komoto *et al*, 2005), un certain nombre de modèles n'entrent pas dans une modélisation détaillée du comportement commercial du client. Ces modèles centrés sur l'utilisation (prochaine section) se contentent d'une description du marché au travers d'un **volume de marché total**, le plus souvent fixe dans le temps (« Market size »).

En revanche, la simulation nécessite que l'offre de service elle-même soit décrite plus précisément, par

exemple, en termes de : *type de produit* (ex. : professionnel, domestique...) (Komoto *et al.* 2005) ; *durée de contrat* (Komoto *et al.* 2005), *délais d'exécution de la prestation* (Phumbua et Tjahjono 2011). La plupart du temps, différents *types de services* sont distingués : réparation, maintenance, récupération pour recyclage, installation... Nous renvoyons vers les travaux de (Henkel *et al.* 2004) ou (Kowalkowki, 2008) pour des typologies de services industriels (« industrial services »).

(Kowalkowki, 2008) précise également que le regroupement de services au sein d'offres globales, ou **bouquets de services** (« bundled services ») est une pratique courante chez les prestataires qui cherche à rationaliser leur système productif. Dans ce cas, le client ne se positionne plus individuellement sur chaque service proposé par le prestataire mais sur une offre globale regroupant un certain nombre d'entre eux. Tout modèle de comportement du client vis-à-vis de cette offre doit donc tenir compte de cet aspect global de l'offre en reflétant des inclinaisons générales d'un *profil de client*, plutôt qu'en sommant des besoins ponctuels précis d'un utilisateur.

### 2.2.2 L'usager dans son utilisation effective du bien

La Simulation du Cycle de Vie a été développée en vue d'évaluer la performance des cycles de vie de produits en permettant une reconstruction de la dynamique comportementale des usagers à partir de processus stochastiques (Komoto *et al.* 2005). La simulation de ces changements d'état du consommateur et de leurs implications sur la vie du ou des produits associés permet d'en analyser les performances économiques et environnementales. La simulation à événements discrets est l'outil le plus utilisé dans ce domaine. A la différence de l'Analyse des Cycles de Vie qui observe des scénarios moyens d'utilisation des produits, la représentation des conséquences de l'occurrence d'événements sur le cycle de vie du produit est au cœur de la Simulation du Cycle de Vie.

Dans leurs modèles de simulation du cycle de vie de la machine à laver, (Komoto *et al.* 2005) ou (Wangphanich, 2011) accordent une place importante à la caractérisation du produit. Ce dernier est caractérisé par tout ou partie des éléments suivants : une *durée de vie* ; une *capacité maximale d'opérations par unité de temps* (semaine) ; une *capacité maximale de fonctionnalité par opération* (kg/opération) ; un *taux de panne* ; une *propension à l'usure* (en nb d'opérations) ; la *réparabilité* (oui/non) ; la *réutilisabilité* (oui/non). Non focalisés sur la machine à laver, (Takata et Kimura, 2007) ajoutent une *fonction d'obsolescence* pour modéliser un désintéressement du client. Ils introduisent également une différenciation entre produit et composant qui induit la nécessité de décliner les notions de réutilisabilité sur chacun des composants.

L'utilisateur est, lui, décrit par un *besoin fonctionnel par unité de temps* (kg de vêtements par an) (Komoto *et al.* 2005). De manière générale, la définition de ce besoin fonctionnel constitue un moyen de quantification de la

satisfaction du client. (Phumbua et Tjahjono, 2011) ajoutent d'autres critères associés au niveau de tolérance du client sur les délais et la qualité des prestations. De plus, il peut être important de traduire l'interaction entre l'utilisateur et le produit au travers, par exemple, d'un niveau d'*intensité d'utilisation* d'un produit par un usager (Wangphanich, 2011), (Phumbua et Tjahjono, 2011). La modélisation de l'apparition des besoins client est une problématique à part entière. Les travaux traitant de la problématique de planification des opérations de maintenance (Duffuaa *et al.* 2001) soulignent par exemple la difficulté à prévoir la sollicitation future de services de réparation et de maintenance. Le recours à des processus stochastiques pour modéliser cette incertitude est alors quasi automatique.

## 3 MODELE CONCEPTUEL DU SYSTEME D'USAGE

Dans le but d'analyser correctement les dynamiques propres au système d'usage et au système industriel, notre approche conceptuelle s'appuie donc sur un découplage de ces 2 sous-systèmes. Nous proposons dans cette section un modèle conceptuel du système d'usage, qui donnera lieu à une application en section 4.

### 3.1 Modèle conceptuel général

En référence à notre analyse préalable, le modèle du système d'usage est destiné à représenter un ensemble d'activités ou processus directement liées aux comportements des clients/usagers, et indépendants des contraintes internes au système productif (si ce n'est à travers l'offre et les prestations générées effectivement par ce dernier). Ce modèle de système d'usage a pour premier objectif, de reconstruire la dynamique de sollicitation du système productif, c'est-à-dire les courbes fréquentielles des *déclencheurs-métier*. Dans cette optique nous allons modéliser principalement au sein du système d'usage deux types de comportements du client/usager : d'une part des comportements commerciaux liés aux décisions d'achat (achat pouvant signifier ici contrat de prestation de service), et d'autre part des comportements d'usage lorsque le client opte pour un PSS.

Une vue globale du modèle conceptuel de système d'usage est représenté par la figure 3. Le « sous-système des comportements commerciaux » a pour but (en output) de fournir un modèle de la répartition de l'ensemble des clients/usagers sur une offre de PSS adaptable à l'usager. Cette offre est présente sur le marché sous la forme d'un ensemble fini d'associations {produit + prestations de service}. Ce sous-système inclut d'une part une représentation de certaines caractéristiques du marché (en volume et en évolution temporelle) et d'autre part une représentation de comportements décisionnels du client par rapport à l'offre PSS. Les variables du modèle seront précisées en 3.2.

Le « sous-système des comportements d'usage » a pour but de fournir (en output) des modèles de l'évolution

temporelle des fréquences pour les différents *déclencheurs-métier* considérés. A partir de la répartition des clients/usagers sur l'offre PSS nous représentons, d'une part des comportements types d'usage (i.e. avec une portée générique) du produit inclus dans le PSS, et des comportements types de mobilisation des prestations de services. Il faut noter que ces comportements dépendront différentes caractéristiques : des profils comportementaux des clients/usager, des caractéristiques propres au produit, et des caractéristiques relatives aux processus d'usage du PSS. Les variables représentatives seront précisées en 3.3.

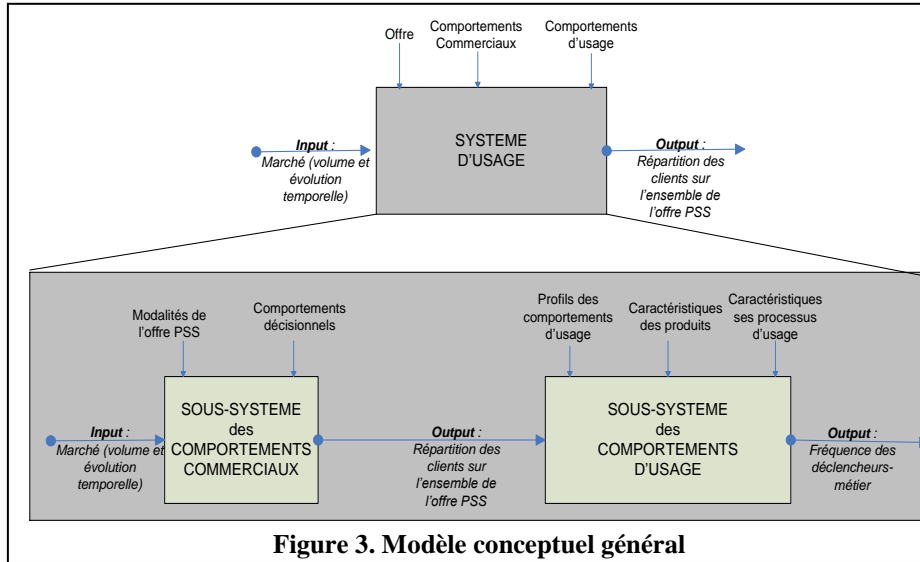


Figure 3. Modèle conceptuel général

Tout en respectant les caractéristiques génériques de ce modèle conceptuel, les processus décisionnels modélisés par le premier sous-système et les processus d'usage représentés par le second pourront être spécifiques à chaque cas d'étude. Nous en proposerons donc une instanciation dans le cadre de l'application de la section 4.

### 3.2 Formalisation des comportements commerciaux

L'objectif de ce sous-système est de modéliser le comportement d'une clientèle par rapport à une offre de type PSS. Dans cette optique nous allons caractériser le marché global, l'offre de PSS et le comportement décisionnel des clients potentiels.

- **Marché global :** Par hypothèse, nous modélisons un marché correspondant à une famille de produits (notée  $FP = \{TP_i\}_{i=1,N}$ , où  $TP_i$  représente des types de produits), caractérisable par un marché global pour une entreprise donnée  $E$ . Nous modélisons par la variable  $(V_{FP,t})$  l'évolution temporelle de la part de marché de  $E$  pour cette famille de produits. Par ailleurs, dans la mesure où nous cherchons à étudier des situations de transitions de l'entreprise  $E$  depuis un marché initial traditionnel (non PSS) vers un marché PSS, nous allons représenter par  $(V_{PSS,t})$  la part du marché global constituée par des contrats PSS. Ces deux variables  $(V_{FP,t})$  et  $(V_{PSS,t})$  fournissent une première modélisation simple de l'évolution du

marché. Ce modèle pourrait bien sûr être raffiné si nécessaire.

**Offre de contrats :** nous considérons par ailleurs que l'entreprise  $E$  met sur le marché un ensemble d'*offres de contrats*, présentées à la clientèle. Nous considérons que chaque *offre de contrat*, notée  $(OC)_i$ , est constituée par la spécification d'un *type de produit*  $TP_i$ , d'un *bouquet de services* associés (i.e. un ensemble fini et limité de prestations de services  $\{S_k\}_{k=1,p}$  déployées sur le cycle de vie du produit), et d'un *niveau de qualité de service* (noté  $QS$ ) traduisant un niveau global d'exigence du client. Au final l'entreprise met donc sur le marché une *offre globale* regroupant un ensemble d'offres de contrats, notée :

$$\text{Offre} = \{(OC)_j\}_{j=1,n}, \text{ avec } (OC)_j = (TP_i, \{S_k\}_{k=1,p}, QS)$$

**Processus de décision commercial :** ce processus est destiné à modéliser le comportement commercial des clients optant pour le PSS, face à l'offre  $\{(OC)_j\}_{j=1,n}$ . Nous modélisons ce comportement comme la sélection d'une offre de contrat spécifique au sein de  $\{(OC)_j\}$ . Chaque client est représenté par un *profil commercial*  $\{Pcom_i\}_{i=1,q}$ . Ce profil commercial peut être interprété

comme son inclinaison à sélectionner chacune des offres  $(OC)_j$ . Ce processus de décision commercial est représenté stochastiquement en associant à chaque profil commercial une loi aléatoire discrète notée  $Disc(\mu_{q,n})$  avec :

$q$  : indice du profil commercial

$n$  : indice de l'offre du contrat.

$$\sum_n \mu_{q,n} = 1.$$

La répartition aléatoire des offres commerciales selon le profil est donnée par le tableau 1. Par ailleurs, la répartition de la totalité de la clientèle sur les différents profils commerciaux est représentée par une variable de pondération  $\alpha_i$  compris entre 0 et 1 et associé à chaque profil  $Pcom_i$ , tel que  $\sum \alpha_i = 1$ .

	$(OC)_1$	...	...	$(OC)_n$
$Pcom_1$	$\mu_{1,1}$			$\mu_{1,n}$
...				
$Pcom_q$	$\mu_{q,1}$			$\mu_{q,n}$

Tableau 1. Définition de profils commerciaux

Grâce à ces 3 types de variables formalisant le marché global, l'offre de PSS et le comportement décisionnel du client, nous sommes en mesure d'étudier de manière stochastique la répartition temporelle de la clientèle sur l'offre de PSS. C'est le point d'entrée pour modéliser ultérieurement les processus d'usage.

### 3.3 Formalisation des comportements d'usage

Le sous-système des comportements d'usage est destiné à modéliser un ensemble de processus d'usage, c'est-à-dire des activités impliquant l'utilisateur du PSS et génératrices de signaux de sollicitations du système productif concernés (signaux que nous avons dénommés *déclencheurs-métiers*). Ces processus d'usage recouvrent une certaine diversité : d'une part des processus liés à l'utilisation directe du produit, qui seront donc impactés par des caractéristiques techniques du produit ; et d'autre part des processus complémentaires liés aux prestations de services qui jalonnent le cycle de vie du produit (incluant par exemple le paiement contractualisé, la maintenance, les évolutions de contrats ou de produits, etc.). Pour modéliser ce sous-système, il est nécessaire d'identifier les processus d'usage concernés, ainsi que les caractéristiques des usagers puis celles du produit qui impactent les déclencheurs métiers :

- **Processus** : L'ensemble des *processus d'usage*, sera noté  $\{PU_i\}_{i=1,n}$ . A ce stade de nos recherches nous n'avons pas défini de catégorisation générique des processus d'usage  $PU_i$ . Chaque processus fait l'objet d'un modèle qui lui est propre, et qui traduit son fonctionnement temporel. Nous utilisons actuellement des modèles spécifiques à chaque cas d'étude : ces modèles ne sont donc pas spécifiés au niveau conceptuel.

- **Utilisateurs** : Le comportement individuel de l'utilisateur est susceptible d'impacter un ou plusieurs processus  $PU_i$ . Nous nous intéressons exclusivement aux impacts de comportements qui auront des conséquences sur la fréquence des déclencheurs métiers et donc sur la sollicitation ultérieure du système productif. Ces comportements impactant sont formalisés par la notion de *profil d'usage* du client. Un profil d'usage, noté  $Pusa_i$  est spécifié par un ensemble de *variables comportementales d'usage* notées  $Vusa_j$ , avec  $Pusa_i = \{ Vusa_j \}_{j=1,m}$ . L'expression mathématique des variables d'usage peut-être adaptée selon les besoins. Nous manipulerons dans un premier temps des variables simples à valeurs discrètes, dans un espace fini de valeurs.

Nous définissons un ensemble fini de *profils d'usages* et la répartition de la totalité des usagers sur ces différents profils est représentée par une variable de pondération  $\beta_i$  comprise entre 0 et 1 et associée à chaque profil  $Pusa_i$ , tel que  $\sum \beta_i = 1$ .

- **Produit** : le comportement technique du produit est susceptible d'impacter les processus liés à l'utilisation directe du produit avec, là-aussi, des conséquences en termes de sollicitations du système productif. Chaque famille FP, est caractérisée par un ensemble de *variables techniques*, notées  $\{Vtec_k\}_{k=1,q}$ . Ces variables prendront des valeurs distinctes pour chaque type de produit  $TP_i$ . L'instanciation de cet ensemble de variables pour un type de produit donné  $TP_i$  fournit le profil technique du produit, noté  $P^{TP_i}$ . L'expression mathématique des variables techniques doit-être adaptée à chaque cas. Un

exemple typique est une courbe de fiabilité qui influencera le déclenchement de prestations de maintenance.

Grâce à ces différentes variables, formalisant les comportements d'usage, nous sommes en mesure d'étudier de manière stochastique la fréquence temporelle des *déclencheurs-métier*. C'est ce que nous illustrerons dans l'étude de cas. Par contre le modèle du système productif, tout comme l'utilisation de ces déclencheurs métiers sort du cadre de cet article.

## 4 ETUDE DE FAISABILITE : CAS D'UNE PME

Une première implémentation de ce modèle conceptuel est proposée en utilisant la simulation à événements discrets, qui répond à nos besoins de traitement stochastique et de couplage entre simulation d'un système d'usage et d'un système productif. Soulignons les limites que nous fixons pour l'étude de cas présentée ci-après :

- Cette communication se focalise uniquement sur le modèle du système d'usage. Elle exclue donc la présentation du système productif et du système d'évaluation de la transition, qui feront l'objet d'autres publications.
- Il s'agit d'une étude de faisabilité. Nous proposons donc une première implémentation partielle du modèle conceptuel de système d'usage : l'enjeu est limité à mettre en évidence la faisabilité de reconstruire des courbes fréquentielles de déclencheurs-métier, à partir des différentes composantes du système d'usage.

### 4.1 Présentation du cas ENVIE

ENVIE est une entreprise associative, dont le cœur de métier est le remanufacturing des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE). Ses activités couvrent principalement des activités logistiques de collecte des déchets, des activités productives de traitement et remanufacturing des produits DEEE, des activités de ventes des produits remanufacturés, et des activités logistiques pour l'élimination des déchets non remanufacturables. ENVIE possède la particularité d'employer un grand nombre de personnels en situation de réinsertion sociale : c'est une entreprise associative à vocation de réinsertion professionnelle. ENVIE est répartie sur le territoire national sous forme d'un réseau de PME avec champ d'activité plus local pour chacune d'entre elles. Pour notre cas, nous modélisons ENVIE Loire, ayant son activité dans la région de la Loire. La taille humaine de cette PME pour l'année 2011 est de 17 personnes.

Le choix de cette entreprise comme support à cette étude de faisabilité, est non seulement justifié par l'intérêt stratégique de l'économie de fonctionnalité pour les dirigeants de l'entreprise, mais également par la représentativité de ce cas pour les problématiques de développement durable. Le réseau ENVIE est pleinement engagé dans une politique de développement durable, d'une part d'un point de vue écologique en utilisant le levier majeur du remanufacturing, et d'autre part d'un point de vue sociétal par sa mission de réinsertion. Au-delà de l'étude



de faisabilité actuelle, nous envisageons d'étudier la performance de cette transition organisationnelle selon les 3 volets du développement durable.

Dans le cadre de cette communication, nous nous intéressons à l'étude de la famille de produits « machines à laver ». Nous cherchons à évaluer une transition d'un modèle de vente de machine à laver, à un modèle de vente de la fonctionnalité de lavage.

## 4.2 Couplage systèmes d'usage & productif

Notre approche consiste à découpler le système d'usage vis-à-vis du système productif en vue d'en étudier de manière rigoureuse les interactions. Dans le cas étudié, le système productif recouvre les activités de logistique, de production (remanufacturing), de vente, mais également de prestations de services générées par ENVIE Loire. Dans le système manufacturier classique (vente de produit) les prestations de services sont limitées à une maintenance sur les produits, dans le cadre de contrats de maintenance proposés aux clients. Dans le cas d'une offre de PSS, les prestations de services s'élargissent et s'inscrivent dans le cadre d'une offre globale de contrat. Le système d'usage, quant à lui, représentera le comportement de la clientèle vis-à-vis de l'offre (section 4.3) ainsi que des comportements d'utilisations des machines et de recours à des prestations de services (section 4.4).

Afin d'étudier l'interaction entre système d'usage et système productif, nous nous intéressons dans ce papier à reconstruire les fréquences temporelles des déclencheurs métiers, qui constituent des signaux de sollicitation du système productif. Sur l'étude de cas complète, l'ensemble des déclencheurs-métier inclura :

- Des déclencheurs induits par des prestations plus industrielles liées au produit matériel : installation, maintenance du produit, renouvellement du produit, récupération en fin de contrat.
- Des déclencheurs induits par des prestations liées au cycle de vie des contrats et portant sur de l'intangible : signature de nouveaux contrats, demandes de modifications ou arrêts de contrats, incidents de paiement, ...

Dans le cadre de l'étude de faisabilité nous illustrerons la modélisation du système d'usage sur 2 exemples de déclencheurs-métier illustrant ces 2 catégories : DM<sub>1</sub>, est un événement 'demande d'intervention en maintenance' ; DM<sub>2</sub>, est un événement 'incident de paiement'.

## 4.3 Sous-système : comportements commerciaux

### Le marché global modélisé

La machine à laver est un cas souvent cité dans la littérature, par des travaux concernant des études comparatives de point de vue économique et/ou environnemental (Komoto et al., 2005) (demande amplification PSS SC). Pour ENVIE Loire, la *famille de produits* « Machines à Laver » regroupe une variété de produits de marques diverses, de niveaux de qualité diverses. Cette diversité nous impacte uniquement lorsqu'elle influence le type de

contrat et de prestations de services induites. Nous représenteront cette diversité par la notion de *type de produits*. Dans le modèle illustratif, nous considérons 2 types de produits : les produits de haute qualité HQ (Produits « comme neufs » à l'issue du remanufacturing, également associés à des machines de caractéristiques techniques de haute qualité) ; les produits de moyenne qualité MQ (Produits plus fortement rénovés, associés à des machines de caractéristiques techniques moyennes).

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, nous considérons des lois très simples pour le marché global de la famille de produits : ( $V_{FP,i}$ ) représente une demande constante stationnaire et ( $V_{PSS,i}$ ), qui traduit l'attractivité du contrat PSS par rapport au marché traditionnel de vente de produit, est une variable comprise entre 0 et 1, évoluant par palier d'une durée de 6 mois, avec une tendance croissante.

### Offre de contrats

La spécification de l'offre de produit requiert de préciser le type de produit, le bouquet de services, le niveau de qualité.

- Ici nous avons 2 types de produit : Produits HQ et MQ.
- L'ensemble des services accessibles sur ce cycle de vie du produit, noté  $\{S_k\}_{k=1,p}$  englobe des prestations possibles d'installation, d'information technique, de maintenance, d'évolution de matériel et de contrats, de paiement automatisé, de fin de contrat. Dans le cadre de l'étude de faisabilité, nous formalisons l'offre commerciale uniquement par 2 bouquets :

#### Bouquet 1 (Tout compris):

- S<sub>1</sub> : Service Livraison
- S<sub>2</sub> : Service Installation
- S<sub>3</sub> : Service Mise en marche
- S<sub>4</sub> : Service Maintenance curative
- S<sub>5</sub> : Service Maintenance Préventive
- S<sub>6</sub> : Service Remplacement (changement de produit)
- S<sub>7</sub> : Service annexe à l'utilisation (offre de produits support à l'utilisation « produits de lessives, assouplissant »)

#### Bouquet 2 : ce bouquet comprend les services suivants

- S<sub>1</sub> : Service Livraison
- S<sub>2</sub> : Service Installation
- S<sub>3</sub> : Service Mise en marche
- S<sub>4</sub> : Service Maintenance curative
- S<sub>6</sub> : Service Remplacement (changement de produit).

- En ce qui concerne la qualité de service, nous considérons 2 niveaux possibles, symbolisés par des réactivités distinctes : QS<sub>1</sub> = niveau de service élevé et réactivité à 48h ; QS<sub>2</sub> = service moyen et réactivité à 96 h ; En conséquence, voici l'offre commerciale :

Offre	Produit	Services	QS
(OC) <sub>1</sub>	HQ	Bouquet 1	QS <sub>1</sub>
(OC) <sub>2</sub>	HQ	Bouquet 2	QS <sub>1</sub>
(OC) <sub>3</sub>	MQ	Bouquet 1	QS <sub>2</sub>
(OC) <sub>4</sub>	MQ	Bouquet 2	QS <sub>2</sub>

Tableau 2. Offre commerciale



### Comportement commercial

L'étude de la clientèle de ENVIE Loire, nous a conduit à distinguer d'une part les clients de type « professionnels » et de type « particuliers », et d'autre part un degré d'exigence du client. Nous définissons ainsi 3 profils :

- Profil professionnel ( $Pcom_1$ )
- Profil particulier exigeant ( $Pcom_2$ )
- Profil particulier non exigeant ( $Pcom_3$ )

La répartition de l'offre selon le profil des clients peut être donnée par des lois de probabilités discrètes. Cette répartition traduit l'attraction d'un profil commercial vers chacune des offres. Pour notre cas nous considérons les répartitions données dans le tableau suivant :

	$(OC)_1$	$(OC)_2$	$(OC)_3$	$(OC)_4$
$Pcom_1$	0.4	0.4	0.2	0
$Pcom_2$	0.2	0.4	0.4	0
$Pcom_3$	0	0.1	0.3	0.6

**Tableau 3. Profils commerciaux**

Par ailleurs la répartition des profils commerciaux sur l'ensemble de la clientèle (coefficient  $\alpha$ ) est déterministe et fixe, dans le cadre de l'étude de faisabilité.

#### 4.4 Sous-système des comportements d'usage

Comme précisé en 3.3, ce sous-système va représenter des comportements d'usage liés à l'utilisation du produit ou bien liés à des prestations de services complémentaires. Nous précisons ci-dessus les 2 processus d'usage  $\{PU_1, PU_2\}$  modélisés pour l'étude de faisabilité, puis les caractéristiques utilisateurs et produit.

Le processus  $PU_1$  illustre les comportements de type « utilisation du produit » : il s'agit du processus d'utilisation de la machine à laver, qui affecte le déclencheur métier  $DM_1$ , 'demande d'intervention en maintenance'.  $PU_2$  illustre les comportements d'usage liés à des prestations de service complémentaires : il s'agit du processus de paiement, qui affecte le déclencheur métier  $DM_2$ , 'incident de paiement'. Chacun de ces processus est modélisé par un processus événementiel simulable.

### Caractéristiques utilisateurs

Les 4 *profils d'usage*  $P_{usa,j}$  sont définis à partir de variables comportementales d'usage ( $V_{usa,j}$ ) intervenant la dynamique temporelle des 2 processus ci-dessus. En ce qui concerne  $PU_1$  nous considérons 2 variables :

$V_{usa,1}$  : Intensité d'utilisation de la machine à laver

$V_{usa,1} = \{\text{Normale, Abusive}\}$

$V_{usa,2}$  : Qualité de l'entretien de la machine à laver

$V_{usa,2} = \{\text{Entretien Faible, Entretien Rigoureux}\}$

En ce qui concerne  $PU_2$  nous considérons une seule variable comportementale modélisant les cas de « mauvais payeurs ».

$V_{usa,3}$  : Risque de mauvais paiement

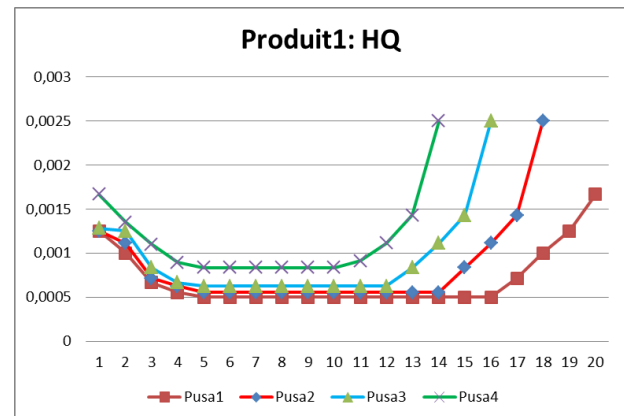
$V_{usa,3} = \{\text{Faible, Moyen, Elevé}\}$

	$V_{usa,1}$	$V_{usa,2}$	$V_{usa,3}$
$P_{usa,1}$	Normal	Faible	Moyen
$P_{usa,2}$	Normal	Rigoureux	Faible
$P_{usa,3}$	Abusif	Faible	Elevé
$P_{usa,4}$	Abusif	Rigoureux	Moyen

**Tableau 4. Profils d'usage**

Par ailleurs la répartition des profils d'usage sur l'ensemble des usagers (coefficient  $\beta$ ) est ici déterministe et fixe. Dans la réalité il faut noter qu'il peut exister une dépendance entre profil commercial et profil d'usage : cet aspect sort des limites de l'étude actuelle.

### Caractéristiques Produit



**Figure 4. Courbes de fiabilité**

Nous avons considéré deux types de produit (HQ, MQ), caractérisés en l'occurrence par une seule variable technique : la fiabilité nominale du produit, représentée par une courbe d'évolution de la fiabilité au cours du temps. Cette caractéristique technique va interagir avec le profil d'usage de l'utilisateur, induisant des événements de type  $DM_1$ , 'demande d'intervention en maintenance'. Au sein du modèle de simulation, cette interaction entre le produit et l'usager est représentée par une dégradation de la courbe nominale de fiabilité en fonction du profil d'usage. A titre d'exemple, la figure 4 illustre la dégradation de la courbe de fiabilité nominale pour la machine à laver HQ, en fonction des 4 profils d'usage.

#### 4.5 Simulation et analyse des résultats

##### 4.5.1 Modèle de simulation et Plan d'expérience :

L'objectif de notre approche de simulation est de reconstituer les fréquences des déclencheurs métiers (sollicitations du système productif), et d'étudier la sensibilité de cette fréquence par rapport aux variables que nous avons prises en considération. Nous avons opté pour une simulation à événements discrets pour étudier différents scénarios à moindre coût, et pour prendre en considération l'interaction entre des variables stochastiques multiples. Nous utilisons le logiciel SIMAN ARENA pour notre simulation. Les données ont été recueillies au niveau de l'entreprise ENVIE.

La demande globale mensuelle pour l'entreprise ENVIE suit une loi normale (60, 5). Nous garderons cette demande, avec une introduction d'un nouveau marché orienté PSS, dont l'évolution se fait selon deux scénarii :

	Attractivité PSS	$\alpha$	$\beta$
<b>Scénarii 1</b>	Constant	Constant	Constant
<b>Scénarii 2</b>	Variable	Constant	Constant

**Tableau 5. Scénarios de simulation**

**Scénarii 1 :** Constant avec 20% de la demande globale

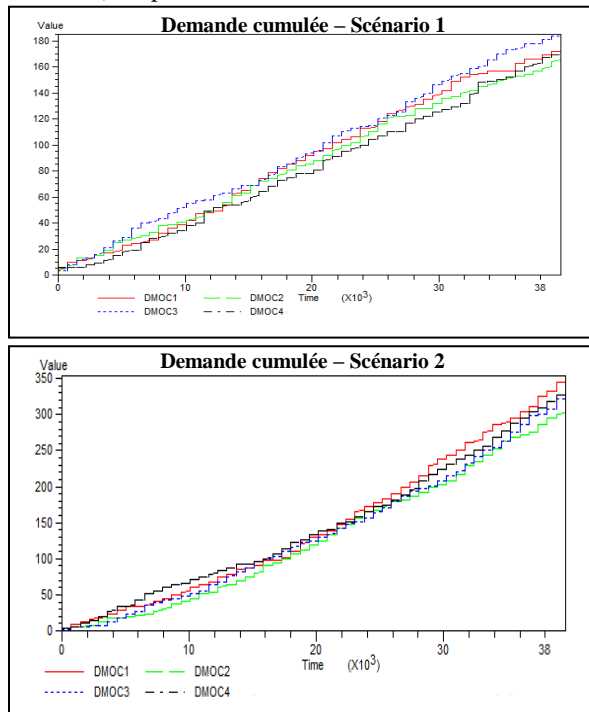
**Scénarii 2 :** Variable, marché croissant par paliers.

Nous considérons que la durée de contrat est constante, fixée à 2 ans. Et nous nous intéressons dans cet article à montrer la reconstitution des fréquences de déclencheurs métiers (Demande de marché, Demande d'intervention, Incident Paiement). Nous considérons des simulations sur une durée de 40 000 heures simulées.

#### 4.5.2 Analyse des résultats

##### Donnée de base : évolution de la demande

Les 2 schémas ci-après montrent l'évolution du cumul de la demande du marché PSS en fonction de type de l'Offre de contrat (4 offres de contrats précisées dans le tableau 2), et pour chacun des 2 scénarios.

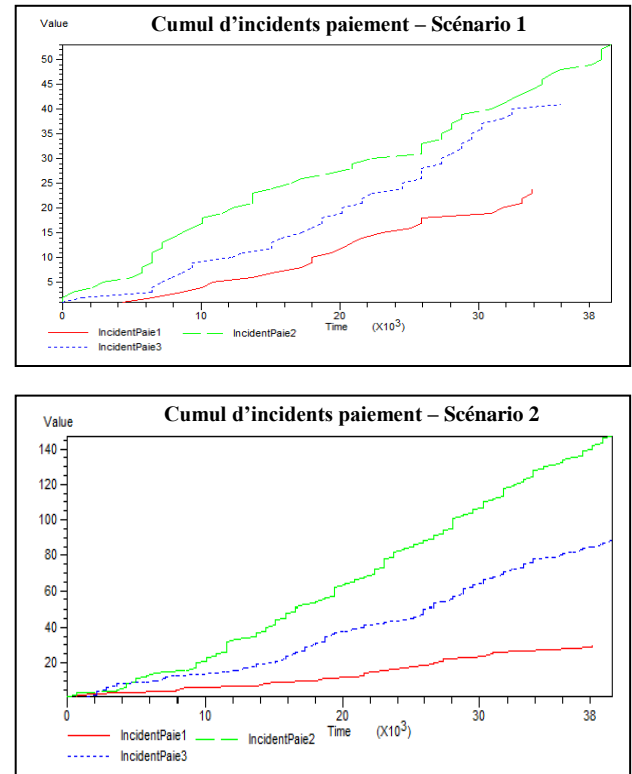


**Figure 5. Demande cumulée pour chaque scénario**

On peut bien sûr noter que le volume du marché global cumulé de demande est nettement plus important dans le cas du scénario 2, ce qui impactera la fréquence des déclencheurs métiers étudiés.

##### Fréquence des incidents de paiements (DM<sub>2</sub>)

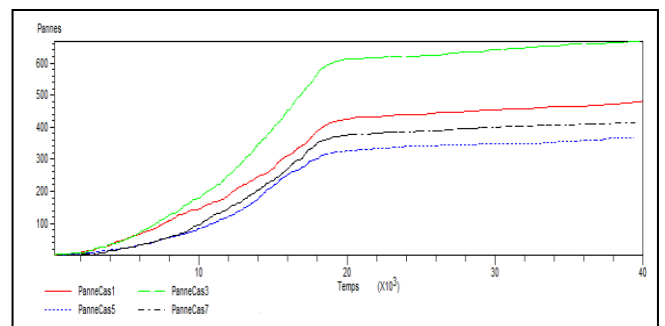
Les figures ci-après montrent l'évolution cumulée du nombre d'Incidents Paiements en fonction du Profil d'Usage. Il est intéressant de noter les différences entre les scénarios 1 et 2, non seulement en valeur cumulée du nombre d'incidents, mais aussi en accroissement des écarts entre les profils d'usage. Ce résultat souligne la sensibilité des déclencheurs métiers vis-à-vis des paramètres du marché, et cela impactera le pilotage du système productif par la suite.



**Figure 6. Demande DM<sub>2</sub> pour chaque scénario**

##### Fréquence des demandes de maintenance (DM<sub>1</sub>)

Le graphique 6 montre l'évolution du cumul de pannes, dans le cas du scénario 1 (volume du marché PSS constant), en fonction du Profil d'Usage et de Type Produit.



**Figure 7. Demande DM<sub>1</sub> pour chaque scénario**

Les combinaisons possibles entre Profil d'Usage et Type produit sont données par le tableau 5.

	Pusa1	Pusa2	Pusa3	Pusa4
Produit HQ	Cas1	Cas3	Cas5	Cas7
Produit MQ	Cas2	Cas4	Cas6	Cas8

**Tableau 6. Différents cas considérés**

Sur le graphique nous avons considérons les cas 1, 2, 7 et 8. L'évolution de la courbe de fréquence de pannes est dépendante du profil d'usage et de type de produit d'une part, et d'autre part de la répartition de la clientèle sur les profils d'usage (variable  $\beta$ ). A travers cette variation, nous pouvons étudier certains impacts du système d'usage sur le système industriel. Nous nous intéressons notamment à étudier la gestion des capacités et la mise en place de différentes règles de gestion industrielle (Mode de gestion de la production, gestion des stocks et logistique, gestion de la capacité).

## 5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons proposé les premiers éléments d'une démarche de modélisation et simulation des systèmes de production orientée services, centrée sur l'étude des comportements d'usage comme préalable à l'étude du pilotage du système productif industriel. Nous avons d'abord proposé un modèle conceptuel de système d'usage permettant d'étendre et d'adapter le modèle à chaque cas traiter. L'étude de cas a montré la faisabilité de la simulation du système d'usage.

D'un point de vue conceptuel la suite du travail consiste à développer les modèles conceptuels du système productif et du système d'évaluation de la transition organisationnelle étudiée. D'un point de vue applicatif, le cas ENVIE doit encore être étendu et approfondi. Par ailleurs, nous étendrons l'application à d'autres cas en étudiant également le contexte de B to B.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions l'entreprise ENVIE pour sa collaboration, et M. A. Girard pour ses apports en simulation.

## REFERENCES

Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O., and Kay, J.M., 2009, The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges, *Journal of Manufacturing Technology Management*, p.547 – 567.

Balin, S., 2006. *Amélioration des processus de production de services par simulation*. Thèse de Doctorat, Université Paris Dauphine, France.

Buisine, S., and B. Roussel, 2008. *Analyse de l'usage : La conception industrielle de produits*, vol. 3: Ingénierie de l'évaluation et de la décision. Lavoisier Hermès Science. p. 43-60.

Duffuaa, S.O., Ben-Daya, M, Al-Sultan, K.S. and Andijani, A.A. (2001), A generic conceptual simulation model for maintenance systems, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; p.207 – 219

Giard, V., 2005, *Ingénierie de Services*, Economica, Paris

Haywood-Farmer J. and J. Nollet, 1991. *Service plus : Effective Service Management*. Edition G.Morin.

Henkel, C., Bendig, T., Caspari and N. Hasagic, 2004. *Industrial Services Strategies: The quest for faster growth and higher margins*, Monitor Group.

Kotler, P., 2001. *Marketing management, millennium edition*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

Komoto, H., Tomiyama. T., Nagel. M., Silvester. S., Brezet. H., 2004. Life Cycle Simulation for Analyzing Product Service Systems. *International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. p. 386 – 393.

Kowalkowski, C., 2008, *managing the industrial service function*. Thèse de Doctorat, Linköping University, Sweden.

Kowalkowski, C., Kindström, D., Brehmer, P-O., 2011, Managing industrial service offerings in global business markets, *Journal of Business & Industrial Marketing*, p.181 – 192.

Mont. O, 2002. Clarifying the Concept of Product-Service System, *Journal of Cleaner Production*, p. 237-245.

Nelson. J, 2011. *Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation*. Thèse de Doctorat, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, France.

Phumbua, S., Tjahjono, B., 2011, Towards Product-Service Systems modelling: a quest for dynamic behaviour and model parameters, *International Journal of Production Research*, in press.

S. Takata, T. Kimura, 2003. Life Cycle Simulation System for Life Cycle. *Process Planning Manufacturing Technology*. p. 37-40.

Vargo. S-L and Lusch R.F, 2004. Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*. p. 1–17.

Vargo, S.L. and Lusch R.F., 2008. Service-dominant logic: continuing the evolution. *Journal of the Academic Marketing*, p. 1–10.

Wangphanich, P., 2011, Simulation model for quantifying the environmental impact and demand amplification of a Product-Service System (PSS), *Management Science and Industrial Engineering*. p. 554 – 559.

<sup>i</sup> En effet, Pour les cas de Business to business (B to B), l'approche scientifique globale (Fig. 2) reste pertinente, par contre les processus internes du système d'usage et le modèle conceptuel associé seront différents, induisant des leviers de pilotage distincts.